

映像配信サービスの品質把握法に関する提案と評価

津野 昭彦[†] 浅野 寿朗[†] 西園 敏弘[†]

[†] 日本電信電話株式会社 〒180-8585 東京都武蔵野市緑町 3-9-11

E-mail: [†] {tsuno.akhiko, asano.toshio, nishizono.toshihiro}@lab.ntt.co.jp

あらまし 映像配信サービスは、コンテンツ配信サーバ、ネットワーク、エンドユーザ PC で構成される CDN を通して提供される。このサービスにおいて、構成される要素すべてに対する管理が必要になってくる。そこで、我々は、ネットワークプロビジョニングとカスタマーサービスに関する要件を満たす品質管理システムを提案した。提案システムは、アクティブ測定により配信ルートに沿って品質を定期的に評価し、ネットワーク側またはサーバ側のボトルネックを識別する。また、パッシブモニタリングは個々のユーザのための品質を測定するのに用いている。本稿では、ネットワークプロビジョニングとカスタマーサービスに関する品質管理の要件を分析し、それらの要件を満たすために開発した品質管理システムの有効性を実験により示す。

キーワード QoS 管理, コンテンツ配信

A Study of Quality Management Method for Content Delivery Services

Akihiko TSUNO[†] Toshio ASANO[†] and Toshihiro NISHIZONO

[†] Faculty of Engineering, First University 1-2-3 Yamada, Minato-ku, Tokyo, 105-0123 Japan

E-mail: [†] {tsuno.akhiko, asano.toshio, nishizono.toshihiro}@lab.ntt.co.jp

Abstract We propose a quality management system enabling efficient, accurate measurement of streaming video quality to meet the requirements of network provisioning and customer service. Streaming video is delivered through a content delivery network (CDN) consisting of a content server, network, and customers' personal computers (client PCs). In the digital content delivery business, it is thus necessary to manage the overall quality for all these elements.

The proposed system employs both active measurement and passive monitoring. Active measurement is used to periodically estimate quality along the delivery route and identify bottlenecks in either the network or server if degradation occurs. On the other hand, passive monitoring is used to measure quality for individual users and take improvement measures proactively, before customers complain.

In this paper we discuss three aspects of this system. We first analyze the requirements of quality management in terms of network provisioning and customer service for streaming video delivery. We then explain the architecture and configuration of the quality management system we developed to meet these requirements. Finally, we demonstrate the effectiveness of our system experimentally.

Keyword quality of service management, content delivery, network and systems monitoring, provisioning and quality assurance

1. はじめに

映像配信アプリケーションに対する品質管理においては、ネットワークプロビジョニングとカスタマーサービスの2つの観点が考慮されなければならない。もし品質劣化が発生した場合、ネットワークプロビジョニングにおいてはネットワークの品質を定期的に監視・測定し、ボトルネック箇所を特定することが必要

である。さらに定常的に劣化が発生する場合は、品質を高めるために xSP は設備の増設やネットワークの帯域を増やす等の手段をとる必要がある。一方、カスタマーサービスは視聴ユーザから不満が上がる前に測定を個々のユーザに対し行う等、適切な手段を前もってとることが必要である。

本稿では、映像配信サービスにおける品質管理のビ

ビジネスプロセスの要件について論じ、それらの要件に適応する品質管理システムを提案する。最後に提案システムの有効性を実験により示す。

2. QoS 管理のためのビジネスプロセス

2.1. QoS 管理の要件

特に課金が行われるようなコンテンツ配信サービスにおいて、サービスプロバイダは視聴ユーザのために品質を低下させないようにネットワークを運用管理することがますます重要になってくる。

QoS 管理の大きな目的は、ユーザに安価で申し分ないサービスを提供することであり、これに求められる要件は問題を早く見つけ、原因を特定し、問題を解決するためにプロビジョニングにフィードバックすることである。本稿で提案する品質管理システムは次の 3 つの要件を満たす必要がある。

- i) 転送品質の劣化はできるだけ早く検出できること。
- ii) ネットワークの品質劣化区間を特定できること。
品質劣化の原因は iDC、自らが管理するネットワーク、他事業者が管理するネットワーク、あるいは視聴ユーザの PC にあるかもしれない。
- iii) 品質劣化区間が自らが管理するネットワークであるならば、その原因となったネットワーク装置を特定できること。

2.2. ビジネスプロセス

提案システムにおいて品質劣化は定期的な測定を実施することで検出する。品質劣化を検出後にボトルネック箇所を特定するため、ネットワーク内にあるすべての装置から品質情報を集めることはデータが大量であるため実用的ではない。ここでのボトルネックは品質劣化が発生した時間にリソース不足になった装置を示している。特に、xSP は異なる会社のネットワークからそれらのデータを収集することはできない。そのためボトルネックを効果的に見つけるため、図 2-1 のようなプロセスを用い、ネットワークを区切り徐々に対象範囲を絞ることでボトルネック箇所を特定する。

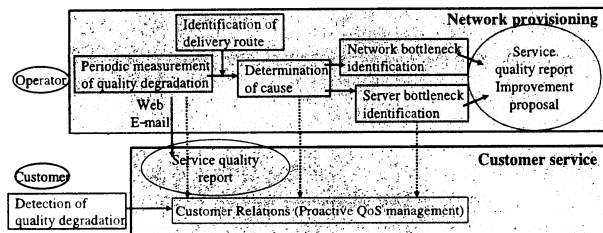


図 2-1 QoS 管理のためのビジネスプロセス

3. 提案システムのアーキテクチャ

3.1. コンテンツ配信ネットワークの構成

コンテンツ配信ネットワークは図 3-1 のように、iDC、自管理ネットワーク、それと相互接続している他事業者管理ネットワーク、エンドユーザの PC で構成されている。エンドユーザの PC は自管理ネットワークおよび他事業者ネットワークを通して iDC と接続する。iDC は、コンテンツサーバや負荷分散装置、ファイアウォール等の多くの装置を使用している。それぞれのネットワークでは多くのルータが使用されているが、自らが管理しているネットワーク内のルータからのみ品質データを取得することが可能である。この品質データは MIB 情報であり、パケットロス率や回線使用率を計測することができる[4-7]。

3.2. アクティブ測定とパッシブモニタリング

アクティブ測定は、異なる 2 点間においてプローブパケットを送信することでその QoS を得るが、プローブパケットがネットワーク内の他のトラフィックに与える影響を無視できない場合もある。その場合プローブパケットから得た QoS と実際のトラフィックの QoS とを同一のものと考えすることはできないが、アクティブ測定には次の 2 つの利点がある。

- プローブパケットのみで簡便に測定をすることが可能である。
 - 個々の配信アプリケーションに依存せずネットワーク品質を測定し分析することが可能である。
- パッシブモニタリングは、コンテンツサーバからネットワークに流れているパケットを観測する。この手法は詳細なデータを得るために大量のパケットをモニタする必要があるが分析が困難な場合がある。しかし、次のような利点がある。
- 測定対象のネットワークにおいて、他のトラフィックに与える影響はプローブパケットを送出ししないため無視できる。
 - 観測結果はユーザの体感品質と一致しやすい。

3.3. アクティブ測定とパッシブモニタリングによる品質管理システム

提案する品質管理システムは図 3-1 のように、アクティブエージェント、パッシブエージェント、トラフィックジェネレータ (TG)、HMI 端末と管理サーバ・品質レポートサーバ (Web) から構成されている。アクティブエージェント、パッシブエージェントはソフトウェアにより実装されている。

TG は品質測定のためにアクティブエージェントに対して、実際のコンテンツトラフィックをシミュレートしたプローブパケットを送信する。アクティブエー

ジェントはプローブパケットを受け取り、パケットロス率を計測する。アクティブエージェントから集められたデータを用いてネットワーク全体の品質を推測し、ネットワークプロビジョニングに活用することができる。

パッシブエージェントは、エンドユーザの PC、ネットワーク装置および IDC 内に配置し、個々のユーザ品質を推測することでカスタマーサービスに活用することができる。これらの情報を元に、品質レポートサーバを通して個々のユーザに品質レポートを提供することが可能である。

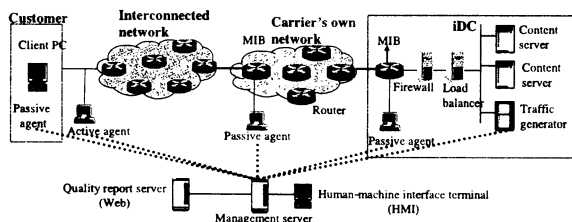


図 3-1 映像配信サービスの品質管理システム

4. ネットワークプロビジョニングのための QoS 管理

ネットワークプロビジョニングにおいては品質劣化が発生したら素早く検出し、ボトルネックを分析することが重要である。提案システムでは、TG とアクティブエージェント間におけるネットワーク全体の品質を柔軟に推測することができるため、アクティブ測定を配信品質の劣化検出法として用いている。配信品質の劣化が検出された場合、ボトルネックは次の 3 つのステップにおいて分析される。

- ・ 配信ルートの特定
- ・ 品質劣化を引き起こしたネットワーク区間の特定
- ・ 品質劣化の原因をなした装置の特定

ボトルネックが突き止められた後、事業者は帯域幅を拡張、リソースの増量、装置のアップグレード等の手段を講じることが可能である。

この章では、品質劣化の検出パラメータであるパケットロス率、プローブパケットの構造およびパケット長に関して実験により得た結果を論じる。さらにボトルネック分析のアルゴリズムについて述べる。

4.1. Conditions for operating parameters

4.1.1. ユーザ体感品質と配信品質

ユーザが体感する品質を効率的に、正確に把握するために配信品質との関係を明らかにし、品質を低下させる要因を見つけることが必要である。配信品質はサ

ーバ品質とネットワーク品質に大きく分けることができる。サーバ品質を低下させる主要因は、CPU のオーバーロードとメモリの不足であるため、品質尺度として、CPU 使用率やメモリの残容量である。また、IP ネットワークにおける品質低下の要因は、ルータあるいはリンクのオーバーロードであるため、品質尺度として IP パケットのロス率が上げられる。

4.1.2. パケットロス率の定義

図 4-2 のようにアクティブエージェントでパケットロス率の測定を行う場合、2 つの手段をとることができる。1 つ目は TG とアクティブエージェントを同期させる方法であり、パケットロス率を式 (1) のように求める。

$$Ps = (Ns - Nt) / Ns \quad (1)$$

2 つ目は、測定の開始と終了パケットを識別する方法であり、パケットロス率を式 (2) のように求める。

$$Pr = (Ns - Np) / Ns \quad (2)$$

提案システムでは、ネットワークにおける大きな遅延がある場合でもより正確に測定が行えるため、パケットロス率として式 (2) の Pr を適用した。しかし、終了パケットがアクティブエージェントに到着しない場合、定期的な測定を妨げるという問題がある。この問題に対しては、終了パケットに適切なタイムアウト値を設定すること解決した。

Ns : 時刻 $T_0 - T_1$ 間で TG が送信したパケット数

Nt : 時刻 $T_0 - T_1$ 間でアクティブエージェントが受信したパケット数

Np : 時刻 $T_0 - T_1$ 間で TG が送信したパケットのうち、アクティブエージェントが受信したパケット数

Xi : ロスしたパケット数

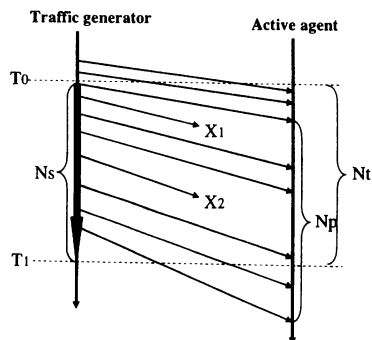


図 4-2 パケットロス率の定義

4.1.3. プローブパケットの構造

提案システムの TG はプローブパケットを柔軟に生成することができ、生成条件としてはパケット長、送信間隔、送信時刻等が設定可能である。パケットの構

造として、図 4-3 のように 2 つの構造が考えられる。1 つ目は (図 4-3(a))、実際のコンテンツの UDP パケット長 (12500 バイト) とほぼ等しくする構造である。2 つ目は (図 4-3(b))、最大転送ユニット (MTU) と等しくする構造である。MTU は我々のイーサネットベースの環境において、1500 バイトである。

同一のビットレートのプローブトラフィックを発生させる場合、構造(a)では、それぞれのパケットの送信間隔は大きい場合と小さい場合があり異なる。一方、構造(b)では、ほぼ等しい送信間隔でプローブパケットを生成する。提案システムにおいてどちらの構造がより効果的であるかを実験により決定した。

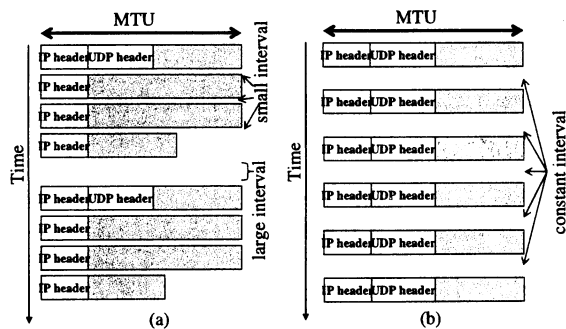


図 4-3 プローブパケットの構造

4.2. 提案システムの評価

4.2.1. 実験環境

図 4-5 のような環境において、iDC 側を想定して TG と WindowsMedia サーバを配置した。一方、エンドユーザ側を想定してアクティブエージェントとユーザ PC を配置して実験を実施した。WinDump はパケットキャプチャツールであり、サーバ側での送信パケット数とユーザ側での受信パケット数を計測している。

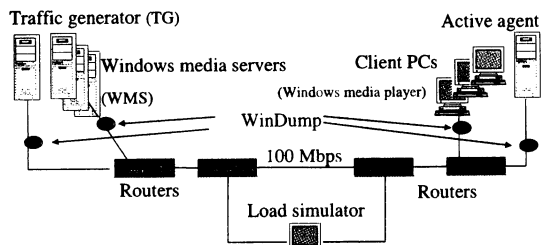


図 4-5 実験環境

4.2.2. 実験結果と考察

(1) プローブパケットの構造

プローブパケットの構造を決めるために、構造(a)、(b)それぞれのプローブパケットを用いてアクティブ

測定した結果と実際のコンテンツのパケットロス率を調べた。図 4-6(a)はパケット構造(a)のロス率の関係を示している。また、図 4-6(b) パケット構造(b)のロス率の関係を示している。これらの結果はパケットロス率において、構造が実際のコンテンツに近い(a)に強い相関があることを示し、プローブパケットは映像配信アプリケーションにおけるパケットのバースト的生成を模擬できる構造が重要であることがわかった。

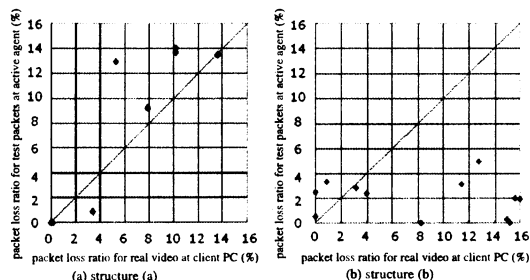


図 4-6 プローブパケットの構造とロス率の関係

(2) パケットロス率の時間変化

次に、複数のユーザ端末を使用した環境下におけるパケットロス率の時間変化に関する評価実験を行った。

表 4-1 は各装置における実験条件を示している。ここでは以下の 3 つのトラフィックを生成している。

- ・ 映像配信コンテンツ
- ・ 背景トラフィック
- ・ プローブトラフィック

プローブパケット長は、前節の実験結果から 12500 バイトを用いている。図 4-7 は、アクティブエージェントと 2 台のユーザ PC を対象に測定結果の時間変化を示している。これらの結果から提案システムにおけるアクティブ測定の有効性を示すことができる。

表 4-1 実験条件

Client	content rate	1 Mbps
	CODEC	Windows Media Video
	content length	60 s
	protocol	UDP
Background traffic	content rate	1 Mbps
	CODEC	Windows Media Video
	content length	60 s
	protocol	UDP
Total traffic		around 98 Mbps
Test packets	packet length	12.5 KB
	protocol	UDP
	test interval	60 s

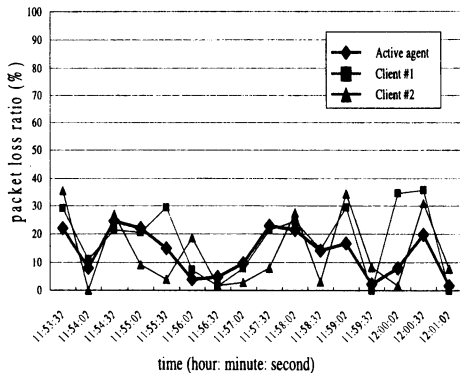


図 4-7 パケットロス率の時間変化

4.3. 配信品質のボトルネック分析

4.3.1. 配信ルートの特特定

品質劣化が発生した際、そのコンテンツのパケットがどのルートを通っていたかを特定することが必要になる。

4.3.2. 品質劣化区間の特定

次に、品質劣化区間が iDC 内なのか、ネットワーク内なのかを特定する必要がある。コンテンツサーバの性能に要因がある場合は、そのサーバのログを分析することで容易に識別可能であるため、最初のステップはサーバログ分析になる。しかし、ネットワーク内に原因がある場合は、ネットワーク構成により特定できる粒度は変わる。例えば、自管理ネットワークや他事業者管理ネットワーク等あり、自管理ネットワークであれば、さらに細かい区間ごとに特定が可能である。区間を特定するにはアクティブ測定により、パケットロスやスループット等の尺度を用いて判定を行う。

4.3.3. 品質劣化装置の特特定

次のステップでは、品質劣化を引き起こした装置が自らが管理するネットワーク内にあった場合はその装置を特定することが必要になる。上記で特定した区間内にある装置（ルータ等）から、標準 MIB を持つ装置を対象に MIB 情報を収集し、パケットロスや回線使用率等を用いてボトルネックとなった箇所を特定する。

5. カスタマーサービスのための QoS 管理

5.1. パッシブモニタリングによる品質管理システム

エンドユーザ個々の配信品質を把握するには、ネットワーク品質だけでなく、パケットの再送機構を含めたアプリケーションレベルでの状態把握をパッシブ

モニタリングにより行う必要がある。図 5-1 は、パッシブエージェントの配置に関して 3 つのタイプを示している。それぞれの特徴を以下である。

- Type1: エンドユーザ PC にパッシブエージェントを配置する方法

これはユーザ PC にエージェントソフトウェアをインストールし、必要な品質情報を収集する方法である。この場合アプリケーションレイヤでの情報を集めることが可能であるが配信アプリケーションに依存してしまうため、配信アプリケーションごとにエージェントソフトウェアが必要になる。

- Type2: iDC 内のコンテンツサーバに配置する方法

これはコンテンツサーバにアクセスログ、アプリケーションログを活用し、必要な情報を収集する方法である。アクセスした全ユーザの状態を管理することが可能であるが、Type1 同様に配信アプリケーションごとにログが異なる可能性がある。

- Type3: L7 スイッチのようなネットワーク装置に配置する方法

これはパッシブエージェントとネットワーク装置間のインタフェースを指定し、上位レイヤの情報を収集し、外部装置で集計することでボトルネックになることを避け、配信アプリケーションの状態を把握する方法である。

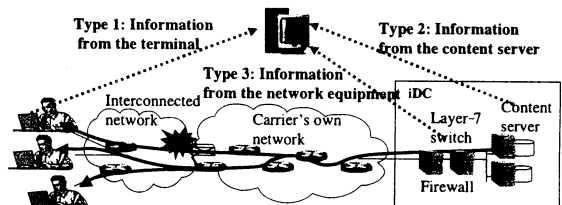


図 5-1 3 タイプのパッシブエージェント

5.2. アクティブ測定およびパッシブモニタリングの品質尺度の比較

次に、アクティブ測定とパッシブモニタリングで用いられる品質尺度の比較を行った。前節の Type1 のパッシブモニタリングでは、それぞれのユーザ PC からアプリケーションレイヤの品質情報を得ることができ、その場合の品質尺度は次の式 (3) で示す。

$$\text{Quality} = (\text{Pr} + \text{Prr}) / (\text{Pr} + \text{Prr} + \text{PacketLost}) * 100 \quad (3)$$

Pr: 受信パケット数

Prr: 再送により受信したパケット数

PacketLost: アプリケーションレイヤで失われたパケット数

図 5-2 は、アクティブエージェントとユーザ PC に

パッシブエージェントをインストールし、測定によりそれぞれの品質尺度の変化を示したものである。

Event1 は連続的にパケットロスが発生したことで、ユーザアプリケーションのバッファリング・タイムアウトにより Quality 値が低下していることがわかる。さらに、アクティブエージェントとパッシブエージェントによる測定結果にも良い関係がある。一方、Event2 ではネットワークレイヤでパケットロスが発生しているが、アプリケーションレイヤでの品質 (Quality 値) は大きく低下していないことがわかる。これはパケットロスが発生しても、そのパケットが再送により回復したことを示しているため、Event1 ほど Quality 値が低下しなかった。

これらからパッシブモニタリングはアクティブ測定よりもユーザの品質を正確に測定できることがわかった。

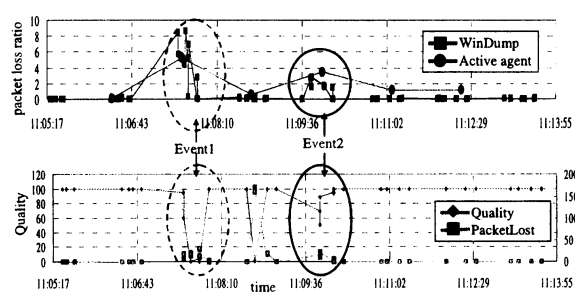


図 5-2 品質尺度 (パケットロス率, Quality, PacketLost)

6. おわりに

本稿では、映像配信サービスにおける品質管理のビジネスプロセスの要件について論じ、それらの要件に適応する品質管理システムを提案した。提案システムは、ネットワークプロビジョニングのためにアクティブ測定を活用し、カスタマーサービスのためにパッシブモニタリングを活用し、その有効性を実験により示した。

今後は、測定精度をさらに高めること、および多くのアクティブエージェントおよびパッシブエージェントを配置する必要があるため、実装コストを削減することが重要になる。

文 献

- [1] The Ministry of Public Management, Home Affairs, Posts and Telecommunications, Japan: "National Broadband Initiative- Towards the most advanced IT nation in the world", Press Release, October, 2001. http://www.soumu.go.jp/joho_tsusin/eng/index.html
- [2] T. Sakurai, S. Majima, M. Yokoyama, H. Tokunaga:

"Study of QoS management architecture in the multimedia services era", Technical Proceedings APNOMS 2001, Sydney, Australia, September 2001.

- [3] M. Yokoyama, T. Sakurai: "Server-to-End QoS Management in Digital Content Delivery", WTC-ISS 2002, Paris, France, September 2002.
- [4] IETF RFC1155: "Structure and Identification of Management Information for TCP/IP based Internets", May, 1990.
- [5] IETF RFC1156: "Management Information Base for Network Management of TCP/IP based Internets", May, 1990.
- [6] IETF RFC1212: "Concise MIB Definitions", March, 1991.
- [7] IETF RFC1213: "Management Information Base for Network Management of TCP/IP based Internets : MIB-II", March, 1991.
- [8] H. K. Hartline, A. B. Smith, and F. Ratliff, The Inhibitory Interaction in the Retina, in Handbook of Sensory Physiology, ed. M. G. F. Fuortes, pp.381-390, Springer-Verlag, Berlin.
- [9] <http://www.microsoft.com/japan/windows/windowsmedia/>
- [10] <http://www.apple.co.jp/quicktime/>
- [11] M. Brodie, I. Rish, S. Ma: "Optimizing Probe Selection for Fault Localization", 12th IFIP International Workshop on Distributed Systems: Operations & Management DSOM2002, Nancy, France, October 15-17, 2001..
- [12] ITU-R Rec. 802-1: "Test pictures and sequences for subjective assessments of digital codecs conveying signals produced according to Recommendation ITU-R BT. 601", July, 1994.
- [13] J. Padhye, V. Firoiu, D. Towsley, and J. Kurose, "Modeling TCP Throughput: A simple Model and its Empirical Validation", "Proceedings of ACM SIGCOMM98, September 1998.
- [14] W. R. Stevens, TCP/IP Illustrated, Volume 1: The Protocols.